

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10078647 A**

(43) Date of publication of application: **24 . 03 . 98**

(51) Int. Cl

G03F 1/08

(21) Application number: **08233025**

(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**

(22) Date of filing: **03 . 09 . 96**

(72) Inventor: **ITO SHINICHI
SATO HIROYUKI**

**(54) PHASE INSPECTING METHOD OF EXPOSURE
MASK**

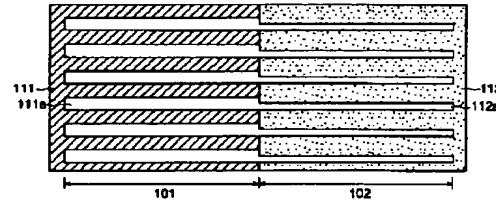
the difference in the focal points.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure the phase difference by a translucent phase shift film in an exposure mask with good accuracy.

SOLUTION: In the phase inspecting method of an exposure mask to measure the phase shift by a translucent phase shift film formed in an exposure mask, a first pattern group 101 and a second pattern group 102 described below are used. The first pattern group 101 consists of a periodical line (nonaperture)/space (aperture) pattern with 1 ratio of aperture width/distance between apertures, while the second pattern group 102 consists of a line/space periodical pattern with <1 ratio of aperture width/distance between apertures. An optical image of each pattern group is focused on a measuring plane through a projection exposure optical system, and plural optical images are obtd. by varying the position of the measuring plane along the optical axial (Z). From the plural optical images, difference in the focal points between the first and second pattern groups 101, 102 is calculated from plural optical images, and then the phase difference by the translucent phase shift film 112 is calculated from



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-78647

(43) 公開日 平成10年(1998)3月24日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号 庁内整理番号

厅内整理番号

F I
G.03.E 1/08

技術表示箇所

(21) 出願番号 特願平8-233025

(22) 出願日 平成8年(1996)9月3日

審査請求 未請求 請求項の数 7 OL (全 12 頁)

(71) 出國人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 伊藤 信一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 佐藤 寛幸

神奈川県川崎市幸区小向東芝町
式会社東芝研究開発センター内

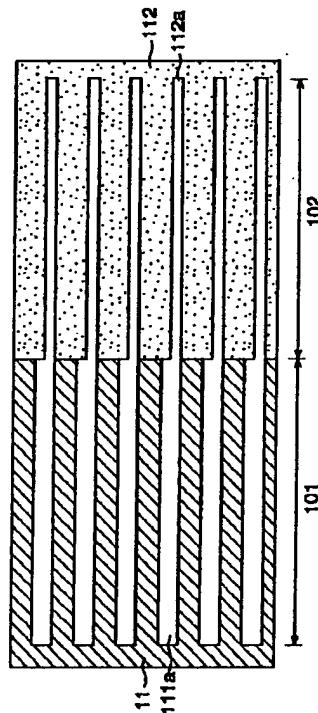
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 露光用マスクの位相検査方法

(57) 【要約】

【課題】 露光用マスクにおける半透明位相シフト膜による位相差を精度良く測定する。

【解決手段】 露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定する露光用マスクの位相検査方法において、遮光膜111に形成され、開口幅／開口部間距離が1であるライン（非開口部）／スペース（開口部）の周期パターンからなる第1のパターン群101と、半透明位相シフト膜112に形成され、開口幅／開口部間距離が1より小さいライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群102とを用い、投影露光光学系を介して測定面上に各々のパターン群の光学像を結像させ、光学像を測定面を光軸（Z）方向に変化させて複数取得し、複数の光学像から第1及び第2のパターン群101, 102の各焦点位置の差を算出し、焦点位置の差から半透明位相シフト膜112による位相差を算出する。



Express Mail #EL719795338US

【特許請求の範囲】

【請求項 1】露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定するための露光用マスクの位相検査方法において、

遮光膜に形成されたライン（非開口部）／スペース（開口部）の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成されたライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群とを用い、

投影露光光学系を介して測定面上に各々のパターン群の光学像を結像させる工程と、前記光学像を前記測定面を光軸（Z）方向に変化させて複数取得する工程と、前記取得された複数の光学像から第1のパターン群の焦点位置と第2のパターン群の焦点位置との差を算出する工程と、前記算出された焦点位置の差から前記半透明位相シフト膜による位相差を算出する工程とを含むことを特徴とする露光用マスクの位相検査方法。

【請求項 2】露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定するための露光用マスクの位相検査方法において、

半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離がほぼ1であるライン（非開口部）／スペース（開口部）の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離が1より小さいライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群とを用い、

投影露光光学系を介して測定面上に各々のパターン群の光学像を結像させる工程と、前記光学像を前記測定面を光軸（Z）方向に変化させて複数取得する工程と、前記取得された複数の光学像から第1のパターン群の焦点位置と第2のパターン群の焦点位置との差を算出する工程と、前記算出された焦点位置の差から前記半透明位相シフト膜による位相差を算出する工程とを含むことを特徴とする露光用マスクの位相検査方法。

【請求項 3】露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定するための露光用マスクの位相検査方法において、

遮光膜内に構成された第1の孤立スペースパターンと、半透明膜内に構成された第2の孤立スペースパターンとを用い、

投影露光光学系を介して測定面上に各々のスペースパターンの光学像を結像させる工程と、前記光学像を前記測定面を光軸（Z）方向に変化させて複数取得する工程と、前記取得された複数の光学像から第1のスペースパターンの焦点位置と第2のスペースパターンの焦点位置との差を算出する工程と、前記算出された焦点位置の差から前記半透明位相シフト膜による位相差を算出する工程とを含むことを特徴とする露光用マスクの位相検査方法。

【請求項 4】前記測定面はマトリクス状に光検出器が配置された部材からなり、前記投影光学系を介して前記測

10

20

30

40

50

定面上にこれらの光学像を結像させる工程を、第1のパターン群又はスペースパターンと第2のパターン群又はスペースパターンの各々の像が前記マトリクス状に配置した光検出器で同時に検出できるように位相検査条件が調整されたことを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の露光用マスクの位相検査方法。

【請求項 5】半透明位相シフトパターンを有する露光用マスクにおいて、

遮光膜に形成されたライン（非開口部）／スペース（開口部）の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成されたライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群とを具備し、第1のパターン群と第2のパターン群が位相検査時に同一の視野内に測定できる隣接した領域に配置されていることを特徴とする露光用マスク。

【請求項 6】半透明位相シフトパターンを有する露光用マスクにおいて、

半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離がほぼ1であるライン（非開口部）／スペース（開口部）の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離が1より小さいライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群とを具備し、第1のパターン群と第2のパターン群が位相検査時に同一の視野内に測定できる隣接した領域に配置されていることを特徴とする露光用マスク。

【請求項 7】半透明位相シフトパターンを有する露光用マスクにおいて、

遮光膜内に構成された第1の孤立スペースパターンと、半透明膜内に構成された第2の孤立スペースパターン群とを具備し、第1のスペースパターンと第2のスペースパターンが位相検査時に同一の視野内に測定できる隣接した領域に配置されていることを特徴とする露光用マスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の製造工程におけるリソグラフィに用いられる露光技術に係わり、特に半透明の位相シフト膜を用いた露光用マスクの位相検査方法と、それに用いられる露光用マスクに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子の集積度を高めるべくリソグラフィ分野では、パターン微細化の検討が進められている。従来、この種の微細化は露光装置の短波長化及びその照明系の最適化のみに依存していたが、近年では露光用マスク自体においても微細化に対する工夫がなされている。具体的には、位相シフト法に用いる位相シフトマスクがあげられる。

【0003】位相シフトマスクとは、マスクを通過する

照明光について隣接する開口部（透明又は半透明）の間で照明光の光路長が半波長分異なる（180度の位相差を設ける）ように基板或いは（半）透明部材の光学特性及びその膜厚を調整し、構成されたものである。位相シフト法のなかに、半透明位相シフトマスクを用いた手法がある。この手法は、半透明部（位相シフト膜）に隣接する透明部との間で光路長差を調整するため、従来遮光性マスクに用いてきたパターンをほぼそのまま運用できるという利点がある。

【0004】ところで、半透明位相シフトパターンでは隣接する開口部との位相差が180度でない場合、焦点深度の低下のみならずホールパターンにおいてフォーカスセンターがシフトすることが知られている。なお、ライン／スペースパターンにおいては前述のフォーカスセンター・シフトは殆ど生じず、焦点深度の低下のみ起こる。

【0005】半透明位相シフト膜では、位相差の他に透過率の制御も必要であるため、その管理に従来はエリブソメトリー等により膜の屈折率・消衰係数・膜厚（段差を接触または非接触計で計測することも可能）を求める、これらの値から多重干渉条件で計算にすることで行われてきた。

【0006】一方近年では、位相差を直接計測する方式が提案されてきている。特開平4-146437公報では、位相シフタの被着部分を透過した光と非被着部分を透過した光とにより形成される像を所定の結像位置に投影し、光軸方向に所定量移動した位置で被着部・非被着部のそれぞれの光量に応じた第1・第2の情報を検出し、第1の情報と第2の情報との比に基づいて位相シフタの被着部・非被着部を透過した光の位相差を算出する方式を提案している。

【0007】また、特開平4-151662公報では、直線偏光を偏光方向の異なる2光束に分離する複屈折分離手段と、これらを被投影原版に照射する単一のコンデンサレンズ系と、対物レンズを透過した2光束を再結合させる複屈折結合手段と、2光束の位相差を変化させる位相差調整手段とを備え、かつ複屈折分離手段の分離角とコンデンサレンズ系の焦点距離とが透明部と位相領域との被投影原版上における位置の差に応じて定められた位相差測定装置を提案し、これを用い、再結合したパターン像の位相領域に対応する部分の干渉光強度が最小又は最大となるときの光束の位相差の調整量から位相領域による位相差を求ることを提案している。

【0008】また、特開平4-181251公報では、単色光又は準単色光を照明する照射光学系と、照射光学系から照射光によるフォトマスクのパターン像を所定の基準平面内に結像する検出光学系と、検査用パターンを透過する光のうち、0次回折光と±1次回折光以外の光を遮光すると共に±1次回折光のいずれか一方を遮光可能な遮光手段と、パターン像を光電検出するパターン検

出手段とを備えた検査マスクを提案し、かつ検査パターンとして一次元のライン／スペースパターンを用いることを提案している。

【0009】しかしながら、この種の位相計測法にあつては次のような問題があった。即ち、従来のエリブソメトリーを用いた解析では、膜内部で光学組成が均一である膜に対しては、高精度で光学定数が得られるため高い位相差精度が得られる。しかし、膜内部で元素組成の異なる場合、とりわけ低反射効果を持たせるために膜内部での複素屈折率の絶対値が最大になるように調整された膜、2層等多層構造の膜、表面に自然酸化領域が存在する膜、表面凹凸の頗著な膜においては、得られる光学定数の精度が乏しく、位相に対する信頼性が極めて低いという問題があった。

【0010】また、特開平4-146437号公報の方式は、隣接する透明開口部の位相を交互に変えたレベンソンマスクについて適用可能な方法で、隣接する開口部のそれぞれに対応する像強度分布のデフォーカスに対する面積比の変化で位相差を割り出しが、半透明位相シフト膜で構成されるパターンでは、像強度変化がデフォーカスに対して変化するものの、隣接する開口部に対応する像強度分布の面積比の変化は生じずほぼ1となる。このため、本手法で半透明位相シフト膜の位相差を認識することはできなかった。

【0011】また、特開平4-151662号公報では、直線偏光を偏光方向の異なる2光束に分離する複屈折分離し、これらを被投影原版に照射するが、2光束間の距離を挟めるのが難しい。半透明位相シフト膜で構成されるパターンでは微細なスペース、更にホールパターンに対する効果が大きく、また位相差の影響が頗著になるが、本方式ではこれら微細スペースパターンの計測は難しい。

【0012】また、特開平4-181251公報では、ライン／スペースパターンを0次光と±1次光のうちの一方と干渉し形成された像の変位から位相差を算出するが、高次回折光が無数存在するホールパターン等、孤立スペースの測定には適用できない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】このように、半透明位相シフト膜で構成されたパターンについては、従来の位相計測法の適用に難点があり、半透明位相シフト膜による位相差を精度良く測定することは困難であった。

【0014】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、半透明位相シフト膜による位相差を精度良く測定することのできる露光用マスクの位相検査方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、半透明位相シフト膜による位相差の測定を精度良く行うことのできる露光用マスクを提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

(構成) 上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち、本発明(請求項1)は、露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定するための露光用マスクの位相検査方法において、遮光膜に形成されたライン(非開口部)／スペース(開口部)の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成されたライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群とを用い、投影露光光学系を介して測定面上にこれらの光学像を結像させる工程と、前記光学像を前記測定面を光軸(Z)方向に変化させ複数取得する工程と、前記複数の光学像から第1のパターン群の焦点位置と第2のパターン群の焦点位置との差を算出する工程と、前記焦点位置の差から半透明位相シフト膜による位相差を算出する工程とを含むことを特徴とする。

【0016】また、本発明(請求項2)は、露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定するための露光用マスクの位相検査方法において、半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離がほぼ1であるライン(非開口部)／スペース(開口部)の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離が1より小さいライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群とを用い、投影露光光学系を介して測定面上にこれらの光学像を結像させる工程と、前記光学像を前記測定面を光軸(Z)方向に変化させ複数取得する工程と、前記複数の光学像から第1のパターン群の焦点位置と第2のパターン群の焦点位置との差を算出する工程と、前記焦点位置の差から半透明位相シフト膜による位相差を算出する工程とを含むことを特徴とする。

【0017】また、本発明(請求項3)は、露光用マスクに形成された半透明位相シフト膜による位相ずれを測定するための露光用マスクの位相検査方法において、遮光膜内に構成された第1の孤立スペースパターンと、半透明膜内に構成された第2の孤立スペースパターンとを用い、投影露光光学系を介して測定面上にこれらの光学像を結像させる工程と、前記光学像を前記測定面を光軸(Z)方向に変化させ複数取得する工程と、前記複数の光学像から第1のスペースパターンの焦点位置と第2のスペースパターンの焦点位置との差を算出する工程と、前記焦点位置の差から半透明位相シフト膜による位相差を算出する工程とを含むことを特徴とする。

【0018】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

(1) 孤立スペースパターンは、開口幅／開口部間距離がほぼ0.25～0.66の関係を満たすこと。

(2) 開口幅Lは、露光波長λ、露光用マスクが被加工基板への像転写に用いられる光学系の転写倍率Mに対して

$$0.8\lambda/M < L < 1.2\lambda/M$$

であること。

(3) 露光用マスクに照射される光の開口数NA2及び露光マスクから射出された光を取り込む開口数NA1が、露光用マスクが被加工基板への像転写に用いられる光学系の露光倍率Mに対してそれぞれ

$$0.3M < NA1 < 0.5M$$

$$0.3NA1 < NA2 < 0.4NA1$$

の範囲にあること。

(4) 測定面はマトリクス状に光検出器が配置された部材からなり、投影光学系を介して測定面上にこれらの光学像を結像させる工程を、第1のパターン群又はスペースパターンと第2のパターン群又はスペースパターンの各々の像がマトリクス状に配置した光検出器で同時に検出できるように位相検査条件が調整されたこと。

(5) 第1のパターン群(又はスペースパターン)と第2のパターン群(又はスペースパターン)の各々の焦点位置Zは、次の手法のいずれかで定める。

(5-1) 暗部と明部の像強度コントラストが最大となる焦点位置Zを定める。

(5-2) 任意の像強度について、所望寸法W0に対し、W0の誤差として±W1を許す光強度の上限I_{max}(Z)と下限I_{min}(Z)を各々のZに対する像強度について算出し、各々のZにおける上限I_{max}(Z)と下限I_{min}(Z)を同一平面(I-Z平面)に投影してI_{max}(Z)と下限I_{min}(Z)で囲まれた領域を作成し、前記領域内でI_{max}(Z)とI_{min}(Z')とに同時に接し、かつZ軸とI軸にそれぞれ平行な辺で構成される特定の四角形を求め、四角形のZの最大値を最小値の平均値から焦点位置Fを算出する。

(5-3) 任意の像強度について、所望寸法W0に対し、W0の誤差として±W1を許容する光強度の上限I_{max}(Z)の対数と下限I_{min}(Z)の対数を各々のZに対する像強度について算出し、各々のZにおける上限I_{max}(Z)の対数と下限I_{min}(Z)の対数を同一平面(I-Z平面)に投影してI_{max}(Z)の対数と下限I_{min}(Z)の対数で囲まれた領域を作成し、前記領域内でI_{max}(Z)の対数とI_{min}(Z')の対数とに同時に接し、かつZ軸とI軸にそれぞれ平行な辺で構成される特定の四角形を求め、四角形のZの最大値と最小値の平均値から焦点位置Fを算出する。

【0019】本発明の露光用マスクの位相検査方法を適用できる露光用マスクは、(イ)遮光膜に形成されたライン(非開口部)／スペース(開口部)の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成されたライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群、(ロ)半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離がほぼ1であるライン(非開口部)／スペース(開口部)の周期パターンからなる第1のパターン群と、半透明位相シフト膜に形成され、開口幅／開口部間距離が1より小さいライン／スペースの周期パターンからなる第2のパターン群、(ハ)(開口幅

／開口部間距離がほぼ0.25～0.66となるよう) 遮光膜内に構成された第1の孤立スペースパターンと、(開口幅／開口部間距離がほぼ0.25～0.66となるよう) 半透明膜内に構成された第2の孤立スペースパターン、のいずれかの構成を具備し、第1のパターン群(又はスペースパターン)と第2のパターン群(又はスペースパターン)が位相検査時に同一の視野内で測定できる隣接した領域に配置されていることを特徴とする。

【0020】ここで、本発明の露光用マスクに望ましい実施態様としては、次のものがあげられる。

(1) 半透明位相シフトパターンは、透光性基板上に形成された単層膜或いは多層膜、エッチングされた基板上に構成された単層膜或いは多層膜のいずれかであること。

(2) 透光性基板として、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 の少なくとも一つを用いること。

(3) 半透明位相シフト膜に、 Si 、 Ge 、 GeAs のうち少なくとも一つを用いること。

(4) 半透明位相シフト膜は、シリコン、ゲルマニウム、ガリウムアルセナイト、ハフニウム、錫、タンタル、炭素、モリブデン又はタンクスチタン又はニッケルなどの金属シリサイドのいずれかを主組成に持つ酸化物、窒化物、炭化物、水素化物、ハロゲン化物の少なくとも一つより構成されること。

(5) 半透明位相シフト膜は、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 SiO_2N_x 、 MoSiO_2 、 MoSiN_x 、 MoSiO_2N_x 、 WSiO_2 、 WSiN_x 、 WSiO_2N_x 、 CrO_2 、 CrN_x 、 CrO_2N_x 、 CrF_6 、 CrO_2F_6 、 HfO_2 、 HfO_2F_6 、 SnO_2 、 TaO_2 、 CH_x 、 CaF_2 、 MgF_2 、 Al_2O_3 (x 、 y 、 z は任意の実数) の少なくとも一つより構成されること。

(6) パターンの開口幅 L は、露光波長 λ 、露光用マスクが被加工基板への像転写に用いられる光学系の転写倍率 M に対して

$$0.8\lambda/M < L < 1.2\lambda/M$$

であること。

(7) 第1のパターン群(又はスペースパターン)と第2のパターン群(又はスペースパターン)は、隣接した領域にあること。より望ましくは各領域間の距離が位相検査器で同一の視野内で測定できる範囲であること。

(8) 第1のパターン群(又はスペースパターン)と第2のパターン群(又はスペースパターン)は、少なくとも露光用マスク面内に複数配置されていること。

(9) 第1のパターン群(又はスペースパターン)と第2のパターン群(又はスペースパターン)は、デバイスパターン領域内に複数配置されていること。

(10) 第1のパターン群(又はスペースパターン)は長辺方向に開口長の異なる単位パターンを含み、長辺方向に開口長の長い部分が第2のパターン群(又はスペースバ

ターン)として構成されていること。

(作用) 本発明は、第1のパターン群と第2のパターン群で共通の単位開口パターン(隣接する膜の材質は異なっても良い)を用いることにある。単位開口パターンを用いるのは、パターン側壁等の影響をこれらのパターン群で等価にするためである。単位開口パターンにはホール開口パターン、スペース開口パターンを用いることができる。

【0021】本発明による位相計測法は、第1のパターン群と第2のパターン群で生じる焦点位置の差から導出する。焦点位置のシフト量はおよそ180度からの位相ずれで定まるが、半透明位相シフト膜の透過率と測定する開口幅(形状)にも大きく左右される。

【0022】図1(a)に、透過率6%、位相差160度の膜で構成された孤立開口パターンについて、ピッチ寸法に対する開口寸法の比に対するフォーカスセンターシフト量を示す。露光条件は、露光波長248nm、 $\sigma=0.3$ 、 $NA=0.45$ とした。開口幅は0.255μmから0.300μmとした。なお、これら実寸法は規格化寸法0.408から0.544に相当する。

【0023】フォーカスセンターの算出は、次の1)から4)のとおり順次行った。

1) 任意のフォーカス位置 Z の像強度について、各開口幅に対して±10%の寸法誤差を生じる光強度の上限 $I_{\max}(Z)$ の対数と下限 $I_{\min}(Z)$ の対数を、各々の Z に対する像強度について算出した。

【0024】2) 各 Z に対して $I_{\max}(Z)$ と $I_{\min}(Z)$ の対数値を同一平面($I-Z$ 平面)に投影して、 $I_{\max}(Z)$ の対数と下限 $I_{\min}(Z)$ の対数で囲まれた領域を作成した。

3) 前述の領域に内接し、 Z 軸と I 軸に平行な辺で構成され、 I 軸に平行な辺の長さが例えば10%の像強度変化を許容する($=10g_{10}(1.1)$)ようにし、かつ Z 軸に平行な辺の長さが最大となるような四角形を求める。(なお、像強度変化の許容量は10%に限るものではなく0~30%であり、かつその領域が存在すれば如何なる値でも良い。)

4) 四角形の Z の最大値と最小値の平均値と焦点位置 F からフォーカスシフト量を求める。

【0025】ここで用いた各開口線幅に対し、この露光照明条件ではフォーカスセンターシフト量が最大になる開口寸法/開口ピッチ寸法は0.25～0.36の範囲で得られた。図1(a)と同様のパターン寸法に対して、照明光学系の条件をコヒーレントファクター $\sigma=0.35$ 、 $NA=0.4$ としたときのフォーカスセンターシフト量を、図1(b)に示す。この場合、図1(a)と比較し、各開口幅においてフォーカスセンターシフト量が最大となる(開口寸法/ピッチ寸法)値は小さくなり、また最大のフォーカスセンターシフト量は図1(a)の条件より増加させることができた。

【0026】フォーカスセンターシフト量から位相差を

求める場合、フォーカスセンターシフト量の誤差が位相誤差を生じる原因になる。従って、照明条件に応じて

(開口寸法/ピッチ寸法)をフォーカスセンターシフト量が極大値を取る位置に定めることが望ましい。また、位相解析の分解能を高めるためフォーカスセンターシフト量自身が大きくなるように照明条件(開口寸法/ピッチ寸法)を定めることが好ましい。

【0027】図1(a) (b)において最大の焦点深度を得られる条件は

条件1: 開口寸法: ピッチ寸法 = 0.225 μm : 1. 10

0.00 μm

NA = 0.35, σ = 0.4

であった。このとき、

(フォーカスシフト量/位相誤差1度) = 0.041 μm

程度となる。なお、この条件はマスク線幅に対してフォーカスセンターシフト量の変化が大きいため、寸法精度の悪いマスクに対しての適用は難しい。例えば、マスク上での寸法精度 ± 80 nm を保証しているマスクの場合、

(フォーカスシフト量/位相誤差1度) = 0.035 ~ 0.041 μm となり大きい誤差を生む。

【0028】これに対して

条件2: 開口寸法: ピッチ寸法 = 0.250 μm : 1. 000 μm

NA = 0.35, σ = 0.4

(フォーカスシフト量/位相誤差1度) = 0.034 μm

では、(フォーカスシフト量/位相誤差1度)の値は条件1に比べ小さいものの、寸法誤差 ± 80 nm のマスクにおいても(フォーカスシフト量/位相誤差1度) = 0.034 ~ 0.032 となり、位相測定精度は飛躍的に良い。

【0029】図2(a)に、開口寸法/ピッチ寸法 0.25 μm / 0.85 μm (開口寸法比 0.29)において、開口数NAとコヒーレントファクターσを変化させて得られるフォーカスセンターシフト量を示す。

【0030】フォーカスセンターシフト量を大きくするには、NAを小さくすれば良い。また、NA誤差を考えるとNAの変化量に対してフォーカスセンターシフト量の変化が小さい領域を用いることが好ましい。図2

(b)に、各開口数におけるフォーカスセンターシフト量変化を示す。変化が最も小さい領域は各照明条件で異なるが、NA = 0.45 以下に最適なNAは存在する。なお、NAの下限はパターン解像の限界を考慮すると 0.35 以上であることが好ましい。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を、図示の実施形態を用いて説明する。本実施形態では、透光性基板上に半透明位相シフト膜、Cr遮光膜の順で積層した。

なお、半透明位相シフト膜の透過率を半透明位相シフト

膜が形成された直後に測定したところ、6%という値を得た。なお、Cr遮光膜の透過率はほぼ0%であった。この上にレジストパターンを形成し、これをマスクにCrパターンを形成し、更にCrパターンをマスクに半透明位相シフトパターンの第1の加工を行った。この面に再度レジスト膜を形成し、半透明位相シフトパターンを形成する領域のみ露出するようにレジストパターンを形成し、これをマスクに露出したCr遮光膜を除去(第2の加工)し、ウェハ上 0.25 μm ルールのパターン(デバイス)加工に用いる露光用マスクを形成した。

【0032】この露光用マスクに用いた位相評価用パターンを図3に示す。図3の位相評価用パターンは、0.5 μm のライン/スペースで形成された第1のパターン群 101 と、0.25 μm スペースと 0.75 μm ラインで構成された第2のパターン群 102 とが連続して形成されたものである。膜構成としては、第1のパターン群 101 は半透明位相シフト膜 112 上に遮光膜 111 が形成された遮光パターン、第2のパターン群 102 は半透明位相シフト膜 112 のみで形成されている。

【0033】なお、図中の 111a は遮光膜における開口部(スペース)を示し、112a は半透明膜における開口部(スペース)を示している。また、半透明位相シフト膜の構成は、SiN_x、MoSiO_x、CrF_x、WSiO_xなどを単層で用いたものや、組成の異なる膜を多層で用いた膜であっても良い。

【0034】本実施形態の露光用マスクにおける半透明位相シフト膜の位相差を図3のパターンを用いて測定する手法を、次に説明する。検査波長 248 nm で、NA = 0.35, σ = 0.4 の露光照明条件で、透過率 6% の膜で構成された第2のパターン群 102 と遮光膜で構成された第1のパターン群 101 の各々のウェハ面に相当する部分の光学像を測定した。

【0035】図4(a)～(c)に、半透明位相シフト膜で構成された 0.25 μm スペース : 0.75 μm ライン部のデフォーカスに対する像強度を示す。デフォーカス位置 = -0.4 μm と +0.4 μm でのそれぞれの像強度を比較すると、その形は明らかに異なり、デフォーカス位置 = -0.4 μm の方が像強度が小さくなる傾向が見られている。即ち、このパターンにおいてフォーカスシフトが生じていることが分かった。

【0036】各々の光学像を寸法裕度 ± 10% となる露光量を複数のデフォーカス位置に対して算出し、さらにその上限と下限を示す曲線に囲まれた領域のうちドーズ裕度 10% を確保できる領域を定めた。図5(a)に第1のパターン群、図5(b)に第2のパターン群の領域導出過程をそれぞれ示す。図5(b)に示した 6% 半透明位相シフト膜で構成されたパターンでは焦点位置シフト(四角い領域の重心の Focal Position = 0 に対する変位)は +0.4 μm であった。これに対して図5(a)に示した遮光膜で構成されたパターンでは焦点位置シフ

トは $0 \mu\text{m}$ であった。これらの結果から、第 1 のパターン群と第 2 のパターン群間で生じ得る焦点位置シフト量は $+0.4 \mu\text{m}$ であることが分かった。

【0037】一方、先に測定した透過率 6 % から、この半透明位相シフト膜パターンの位相誤差に対するフォーカスセンターシフト量をシミュレーションにより算出した。その結果を、図 6 (a) に示す。なお、図 6 (a) には同一照明条件で他の開口幅及び開口比率における特性も同時に示した。図 6 (a) の計算値を元に図 5 (a) (b) から得たシフト量から位相差を求めたところ、本半透明位相シフト膜の位相差が -12 度 (168 度) であることが判明した。

【0038】この値は所望とする位相許容誤差 ± 5 度より遙かに悪い値であったため、再度作成し、同一の検査条件でフォーカスセンターシフトが $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 以下 (位相許容誤差 5 度に対応) の膜を最終的に得ることができた。

【0039】本実施形態では、開口幅 $0.25 \mu\text{m}$ 、開口比 0.25 を用いたが、開口幅、開口比はこれに限るものではなく本発明の主旨を逸脱しない限りにおいて適用可能である。図 6 (a) に示す如く、同様の開口幅であっても開口比 0.29 を用いた場合、単位位相差誤差に対するフォーカスセンターシフト量が大きいことから、本検討より精度良く位相を算出することができる。また、開口幅 : 開口比が同様であれば、位相測定精度は変わらない。

【0040】また、図 6 (b) に示す如く $0.25 \mu\text{m}$ スペースと $0.85 \mu\text{m}$ ラインで構成される第 2 のパターン群を用いた場合には、 $NA = 0.40 \sim 0.45$ 、 $\sigma = 0.30 \sim 0.40$ の範囲において ± 10 度の位相誤差の範囲において位相誤差とフォーカスセンターシフト量が同じ値を取ることから、これらの条件での測定は照明条件の揺らぎに対しても精度良く位相誤差を算出できると言える。

【0041】なお、本実施形態では 6 % の半透明膜に対する位相検査例を示したが、透過率もこれに限るものではない。例えば図 7 (a) に示す如く位相誤差に対するフォーカスセンターシフトは 10 % の膜でも十分に生じ得る。透過率が増加するに従い単位位相誤差に対するフォーカスセンターシフト量が小さくなるが、この減少は透過率増大に伴い半透明パターンエッジ部で遮光効果が増加し、見かけ上開口幅が狭まることによる。

【0042】従って、設定された透過率が高い場合、ピッチ (開口部と遮光部の和) を固定し、開口幅が広くなるようにパターン寸法を変更することで単位位相誤差に対するフォーカスセンターシフト量を増大させることができ、低透過率の場合とほぼ同様の精度での位相計測が可能である。なお、図 7 (a) に示す如く位相誤差が半透明膜の透過率に依存するため透過率測定の精度は重要である。透過率計測誤差は、測定値の $1/10$ 以下にす

10

20

30

40

50

ることが望ましい。

【0043】また、本発明はあらゆる露光波長に対しても適用可能である。その一例として 193 nm を露光波長に用いた半透明位相シフトマスクでの同様の評価例を、図 7 (b) に示す。位相差ずれは露光波長にも依存するが、適切な開口幅と開口比を設定することで、露光波長によらず各透過率に対して同じ精度で位相差を測定することが可能である。なお、露光 (検査) 波長は 248 nm 、 193 nm の他、g 線 (436 nm)、I 線 (365 nm) でもよい。

【0044】位相測定パターンは前記図 3 に限るものではない。図 8 に示す如く、第 1 のパターン群 201 と第 2 のパターン群 202 のいずれもが半透明位相シフト膜 212 で構成されていてもよい。ここで、212a が第 2 のパターン群 202 における開口部 (スペース)、212b が第 1 のパターン群 201 における開口部 (スペース) であり、開口部 212a の幅は開口部 212b のそれよりも狭くなっている。より具体的には、第 1 のパターン群 201 では開口幅 / 開口部間距離がほぼ 1 であり、第 2 のパターン群 202 では開口幅 / 開口部間距離が 1 より小さくなっている。これは、第 1 のパターン群では焦点位置シフトを小さくし、第 2 のパターン群では焦点位置シフトを大きくするためである。

【0045】上記の開口幅 / 開口部間距離の関係は、半透明位相シフト膜のみで第 1 及び第 2 のパターン群を構成した場合は必須の要件である。前記図 3 のように第 1 のパターン群を遮光膜で構成した場合、開口幅 / 開口部間距離によらず第 1 のパターン群の焦点位置シフトが小さいため、必ずしも開口幅 / 開口部間距離をほぼ 1 にする必要はない。場合によっては第 1 のパターン群は周期パターンでなくてもよい。

【0046】また、位相測定パターンは図 9 から図 11 に示す各種の変形が可能である。図 9 (a) (b) では、第 1 のパターン群 301 と第 2 のパターン群 302 を、遮光膜 311 の開口部 311a 及び半透明膜 312 の開口部 312a の長辺方向ではなく、各々の開口部 311a、312a の短辺方向に隣接配置している。さらに、図 9 (a) では、第 1 のパターン群 301 の一方側に第 2 のパターン群 302 を配置しているが、図 9 (b) では第 1 のパターン群 301 の両側に第 2 のパターン群 302 を配置している。このような構成であっても、図 3 のパターンの場合と同様にして位相差測定が可能である。

【0047】図 10 (a) (b) は、図 9 (a) (b) の改良で、第 1 及び第 2 のパターン群 401、402 を共に半透明膜 412 で形成したものである。つまり、半透明膜 412 の開口部 412a で第 2 のパターン群 402 が構成され、半透明膜 412 の開口部 412b で第 1 のパターン群 401 が構成されている。ここで、第 1 及び第 2 のパターン群の両方に半透明膜を用いた場合、先

にも説明したように、第1のパターン群401の開口幅／開口部間距離はほぼ1であり、第2のパターン群402の開口幅／開口部間距離は1より小さくする必要がある。

【0048】図11(a)は図3の改良で、第1のパターン群501と第2のパターン群502において、遮光膜511の開口部511aと半透明膜512の開口部512aの幅を等しくしたものである。図11(b)は図9(a)の改良で、同様に、第1のパターン群501と第2のパターン群502における開口部の幅を等しくしたものである。このように第1のパターン群501が遮光膜で、第2のパターン群502が半透明膜で構成される場合、各々の開口幅を等しくしてもよい。

【0049】また、第1のパターン群と第2のパターン群との配置はこれらに限らず、第1のパターン群と第2のパターン群が同時に検出できるような配置であればよい。さらに、パターンの長辺方向は、レンズ特性を考慮すると回折パターンが同じ方向に発生することが好ましく、第1のパターン群と第2のパターン群で同一方向に揃えて配置させることが好ましい。

【0050】上述の例では第1のパターン群に遮光膜及び半透明膜の密集パターン群を用いたが、参照パターンが遮光膜である場合にはこれに限るものではなく開口幅／開口部間の距離=0.20～0.40であっても良い(図11)。この領域では遮光パターンは容易に形成され、かつフォーカスセンターシフトは生じない。従って同様寸法の半透明位相シフトパターンが存在した場合、図1の関係を用い、本実施形態と同様の手法で容易に位相誤差測定が可能である。なお、この場合においても第1のパターン群と第2のパターン群の様々な配置法があるが、望ましくは第1のパターン群と第2のパターン群が同時に検出できるような配置であればこれに限るものではない。さらに、パターンの長辺方向は、レンズ特性を考慮すると回折パターンが同じ方向に発生することが好ましく、第1のパターンと第2のパターンで同一方向に揃えて配置させることが好ましい。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、半透明膜又は遮光膜で構成された第1のパターン群と半透

明膜で構成された第2のパターン群との間で生じる焦点位置差、或いは開口幅／開口部間距離が0.2～0.4の遮光膜内に存在する第1のスペースパターンと半透明膜内に存在する第2のスペースパターンとの間で生じる焦点位置差から、半透明位相シフト膜による位相差を精度良く測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(開口寸法/ピッチ寸法)に対するフォーカスセンターシフト量を示す図。

10 【図2】開口数に対する露光照明条件に対するフォーカスセンターシフト量及びその変動量を示す図。

【図3】本発明の実施形態に用いた位相検査用マスクパターンを示す図。

【図4】半透明位相シフト膜内に形成されたスペースパターンの像強度を示す図。

【図5】第1及び第2のパターン群で得られるドーズ焦点裕度を示す図。

【図6】フォーカスセンターシフト量と180度からの位相ずれの関係を示す図。

20 【図7】フォーカスセンターシフト量と180度からの位相ずれの関係を示す図。

【図8】半透明膜のみで構成した位相検査用マスクパターンを示す図。

【図9】遮光膜と半透明膜で構成した位相検査用マスクパターンを示す図。

【図10】半透明膜のみで構成した位相検査用マスクパターンを示す図。

【図11】遮光膜と半透明膜で構成した位相検査用マスクパターンを示す図。

【符号の説明】

101, 201, 301, 401, 501…第1のパターン群

102, 202, 302, 402, 502…第2のパターン群

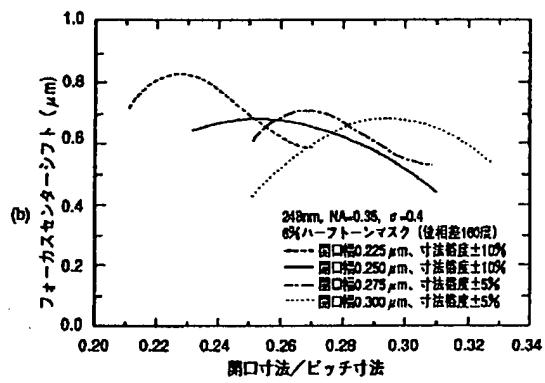
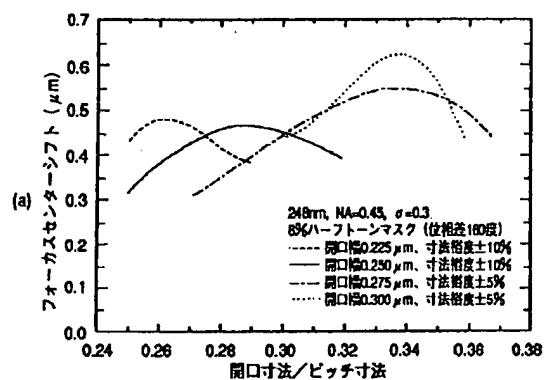
111, 311…遮光膜

112, 212, 312, 412, 512…半透明位相シフト膜

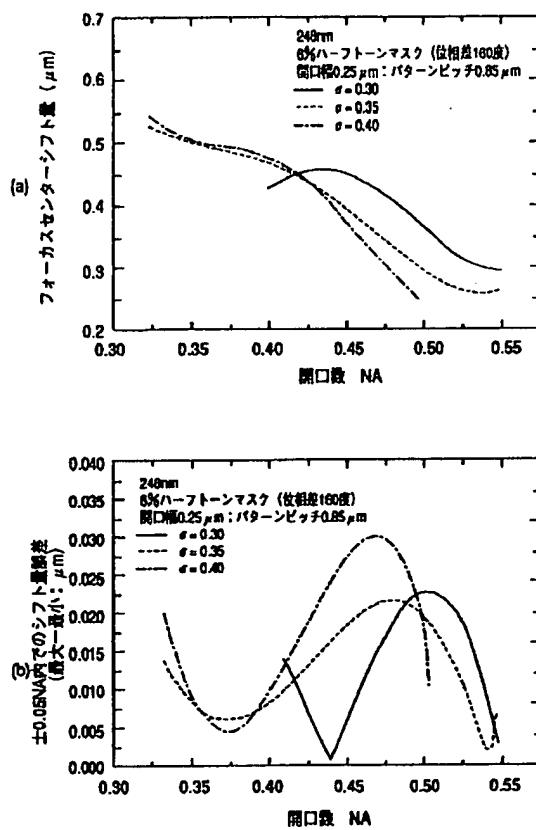
111a, 311a, 511a…遮光膜における開口部

112a, 212a, 312b, 412a, 412b, 512a…半透明膜における開口部

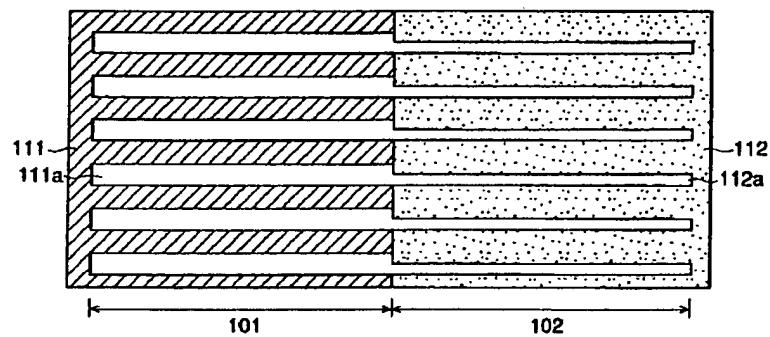
【図 1】



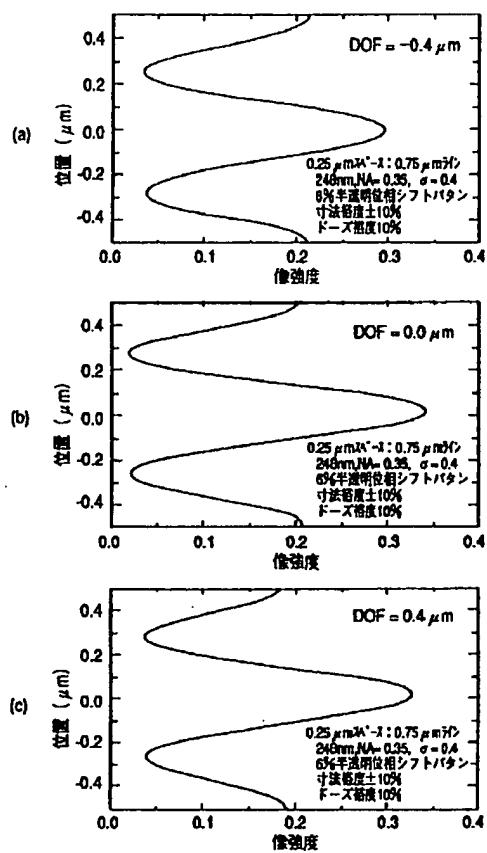
【図 2】



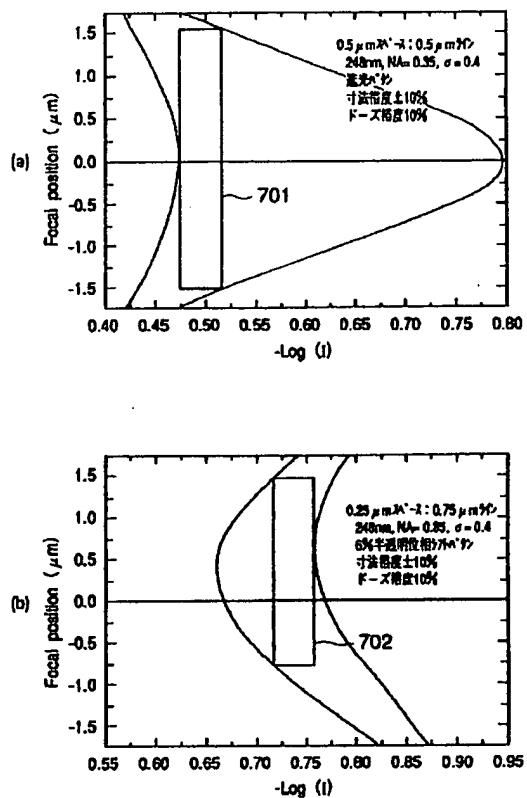
【図 3】



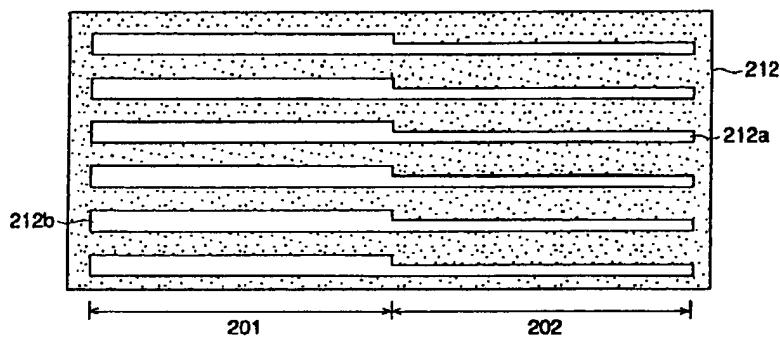
【図 4】



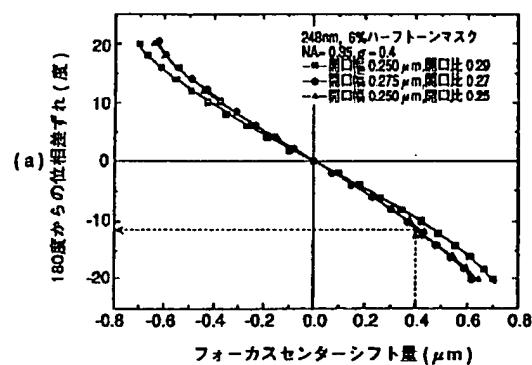
【図 5】



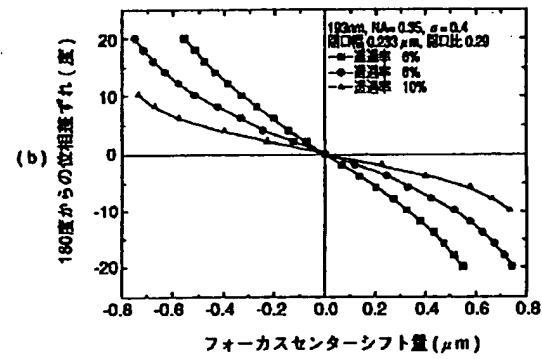
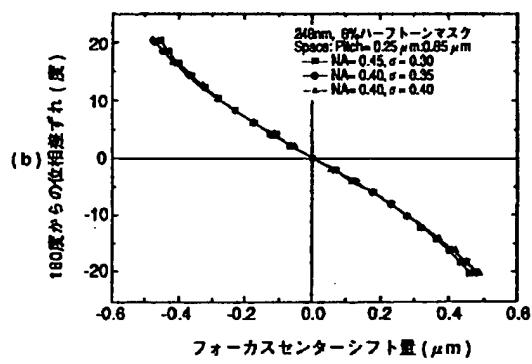
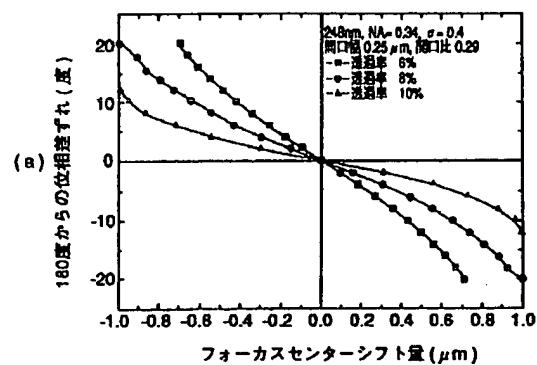
【図 8】



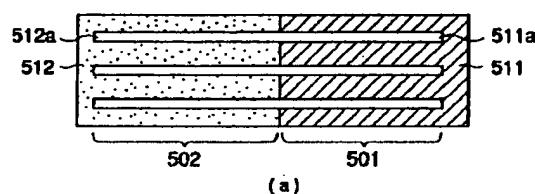
【図 6】



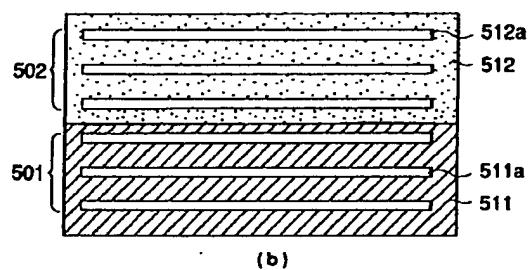
【図 7】



【図 11】

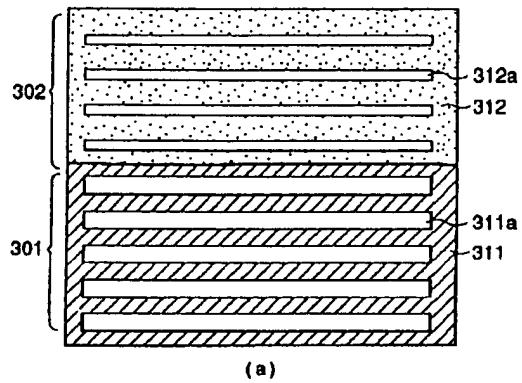


(a)



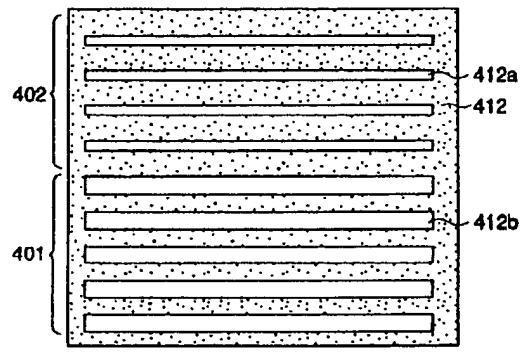
(b)

【図 9】

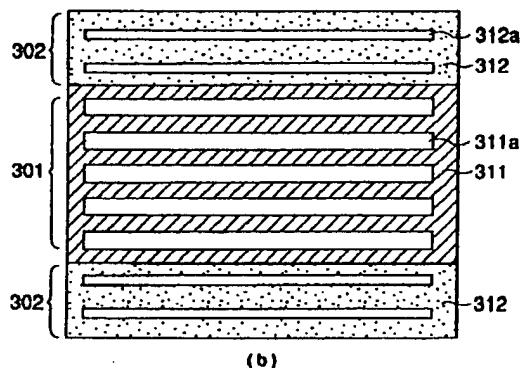


(a)

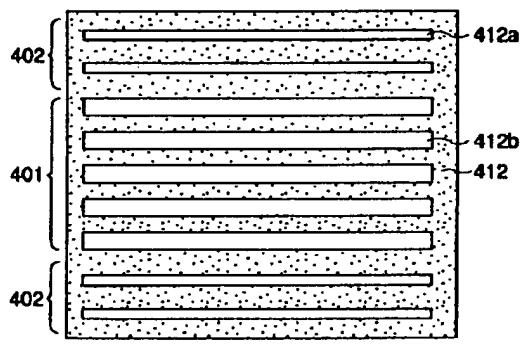
【図 10】



(a)



(b)



(b)